

$$= 160 \cdot 10^{-3} \times 40 \cdot 10^{-3} \times 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad \ell = 1,5 \text{ н}; \quad d = 9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad [4].$$

В результате расчета определено: $\gamma' = 0,18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^2$;
 $\gamma = 0,192 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^2$; $\ell_x = 48 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $m_{np} = 0,083 \text{ кг}$;
 $z' = 3000 \text{ н/м}$; $z = 750 \text{ н/м}$; $f_{с.б.р} = 15,2 \text{ Гц}$; $f_n = 2,5 \text{ н}$,
 $F_{np} = 6,7 \text{ н}$ при $a = 30 \text{ м/с}^2$ и $f = 100 \text{ Гц}$.

Результаты экспериментальных исследований показали удовлетворительное совпадение с результатами расчета, погрешности не превышали 15%.

В ы в о д ы

1. При проектировании электромагнитных аппаратов для подвижного состава расчет динамических усилий, возникающих в подвижных системах вследствие вибраций, целесообразно производить по изложенной методике.
2. В результате проведенных поверочных расчетов и экспериментальной проверки установлено, что при определении частот собственных колебаний и величин противодействующих усилий для отстройки от ложных срабатываний при вибрациях наибольшая относительная погрешность не превышает 15%.

Л и т е р а т у р а

1. В а й с м а н Х.Г. Электрическая аппаратура управления судовыми электродвигателями. М., "Морской транспорт", 1958.
2. П и к Р., У э й г а р У. Расчёт коммутационных реле. ГЭИ, 1961.
3. Я в о р с к и й Б.М., Д е т л а ф ф А.А. Справочник по физике. ФМИ, 1963.
4. Ш в е ц Ю.П., Д у б л и н и н А.Е. Серия электровозных промежуточных реле постоянного и переменного тока. "Электровозная и тепловозная тяга". 1968, № 2.

А.И. Никонов

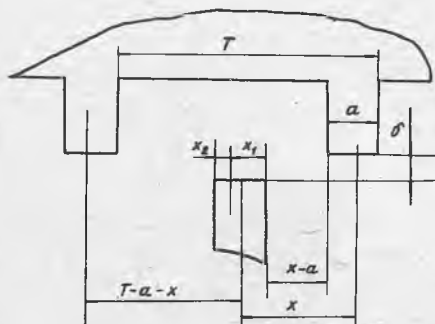
К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МАГНИТНЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗУБЧАТЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СКОРОСТИ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Метод расчета магнитной проводимости зазоров перемещающихся полюсов [1] обладает значительной общностью и достаточно широко ис-

пользуется на практике [2]. Однако применить следующие из метода выводы (имеется в виду дальнейшее получение выражения электро-двигущей силы индукционного преобразователя скорости) не представляется возможным, во-первых, из-за отсутствия учета составляющих магнитного потока, проходящих от подвижного зубца не к одному, а к двум ближайшим неподвижным зубцам, во-вторых, ввиду чрезмерной громоздкости аналитических выражений проводимости зазора, вследствие чего нахождение и запись производной проводимости по координате подвижной части нецелесообразны.

Поскольку динамический режим зубчатых преобразователей значительно распространен [3], полагаем, что аналитическое нахождение параметров выходных сигналов индукционного преобразователя скорости с предварительным определением индуктивности обмотки преобразователя перемещений и использованием максимально возможного упрощения записи соответствующих выражений будет иметь практическую значимость.

Рассмотрим взаиморасположение магнитопроводящих зубцов преобразователя (рис. I). Условно нижний зубец примем подвижным, а два верх-



них - неподвижными. Кроме того, примем следующие обозначения конструктивных параметров преобразователя:

T - величина шага нанесения зубцов; a - длина зубца вдоль оси перемещений; δ - толщина набора магнитопровода; ρ - величина зазора между зубцами.

Положим также, что зависимость координаты проводимости x_1 между правым неподвижным и подвижным

Рис. I. Взаиморасположение зубцов преобразователя

зубцами, расположенной на подвижном зубце, от координаты подвижной части x , измеряемой между центрами указанных зубцов вдоль оси перемещений, является линейной. Тогда для $T > 3a$

$$x_1 = \begin{cases} x, & \text{если } 0 \leq x \leq a, \\ \frac{a}{T-2a}(T-a-x), & \text{если } a \leq x \leq (T-a), \\ 0, & \text{если } (T-a) \leq x \leq T, \end{cases} \quad (I)$$

поскольку при $x=a$ $x_1 = a$ [1], а при $0 \leq x \leq a$ и $(T-a) \leq x \leq T$ магнитная связь неподвижных зубцов с подвижным осуществляется практически только через соответствующий близлежащий зубец. Учитывая, что зависимость координаты проводимости между левым неподвижным и подвижным зубцами x_2 , также расположенной на подвижном зубце, от координаты x симметрична функции x_1 относительно прямой $x = T/2$, можем записать:

$$x_2 = \begin{cases} 0, & \text{если } 0 \leq x \leq a, \\ \frac{a}{T-2a}(x-a), & \text{если } a \leq x \leq (T-a), \\ T-x, & \text{если } (T-a) \leq x \leq T. \end{cases} \quad (2)$$

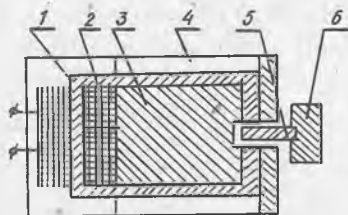
На основании рекомендаций [1] принимаем значения координат проводимости на правом и левом неподвижных зубцах x_1 и x_2 ; в качестве средних линий потока принимаем отрезки ломаных прямых, проведенных из середин участков x_1 и x_2 перпендикулярно к ним. Используя далее известную методику определения проводимости воздушных зазоров [4], находим проводимость для рассматриваемого случая:

$$G_3 = \begin{cases} 0,5\mu_0 b \left(\frac{a-x}{\sigma} + \frac{b}{\pi} \frac{x}{x+\sigma} \right), & \text{если } 0 \leq x \leq a; \\ \frac{\pi\mu_0 b \left\{ (T-3a)[(T-x)^2 + x^2] - (a-\sigma)(T-2a)^2 + 2a^3 \right\} a}{4[(T-3a)x + a^2 + \sigma(T-2a)][(T-3a)(T-x) + a^2 + \sigma(T-2a)]}, & \text{если } a \leq x \leq (T-a); \\ 0,5\mu_0 b \left(\frac{x+a-T}{\sigma} + \frac{T-x}{T+\sigma-x} \right), & \text{если } (T-a) \leq x \leq T. \end{cases} \quad (3)$$

Экспериментальная проверка показывает, что более точными являются выражения:

$$G_3 \begin{cases} 0,5\mu_0 b \left(\frac{a-x}{\sigma} + \frac{2x}{x+\sigma} \right), & \text{если } 0 \leq x \leq a; \\ \frac{\mu_0 b \left\{ (T-3a)[(T-x)^2 + x^2] - (a-\sigma)(T-2a)^2 + 2a^3 \right\} a}{[(T-3a)x + a^2 + \sigma(T-2a)][(T-3a)(T-x) + a^2 + \sigma(T-2a)]}, & \text{если } a \leq x \leq (T-a); \\ 0,5\mu_0 b \left(\frac{x+a-T}{\sigma} + 2 \frac{T-x}{T+\sigma-x} \right), & \text{если } (T-a) \leq x \leq T. \end{cases} \quad (3a)$$

Конструкция преобразователя показана на рис.2. Устройство со-



держит неподвижный магнито-провод I с обмоткой 2, а также электропроводные установочные элементы 3,4. В зазоре магнитопровода перемещается набор подвижных зубцов 5, охваченный обоймой 6. За счет элемента 3 поперечные утечки магнитного потока, создаваемого обмоткой 2, све-

Рис.2. Конструкция зубчатого преобразователя

дены к минимуму, так что индуктивность этой обмотки можно принять равной

$$L_{\text{вх}} = \frac{W^2 G_2}{1 + R_M G_2}, \quad (4)$$

где W - число витков обмотки 2; R_M - магнитное сопротивление стали.

Поскольку для значительного числа практических конструкций

$$R_M G_2 \ll 1, \quad (5)$$

запишем:

$$L_{\text{вх}} = W^2 G_2, \quad (4a)$$

откуда индуктивность без затруднений может быть вычислена по формулам (3a) с учетом множителя W^2 .

Рассматривая преобразователь, обмотка 2^а которого запитана постоянным током I , для генераторной электродвижущей силы имеем

$$e = W \frac{d\Phi}{dt} = I W^2 v \frac{(G_2)'_x}{(1 + R_M G_2)^2}, \quad (6)$$

где v - линейная скорость перемещения подвижной части; Φ - магнитный поток обмотки 2.

Вычисляя $(G_2)'_x$ и подставляя ее значения в равенство (6) с учетом уравнения (5), получим следующие выражения для e (результаты экспериментальной проверки показывают, что во избежание значительных расхождений с расчетом на участках $0 < x < (\sqrt{2}-1)\sigma$ и $[\Gamma - (\sqrt{2}-1)\sigma] < x < \Gamma$ целесообразно принимать $e = 0$):

$$e = \begin{cases} \frac{\mu_0 b [(x + \sigma)^2 - 2\sigma^2]}{2\sigma(x + \sigma)^2} I w^2 v, & \text{если } (\sqrt{2}-1)\sigma \leq x \leq a; \\ \frac{\mu_0 a b (T-2a)^2 (T-3a) [T(T-3a) + 2a^2 + 2\sigma(T-2a)] (2x-T)}{[(T-3a)(T-x) + a^2 + \sigma(T-2a)]^2 [(T-3a)x + a^2 + \sigma(T-2a)]^2} I w^2 v, & \text{если } a \leq x \leq (T-a); \\ \frac{\mu_0 b [(T + \sigma - x)^2 - 2\sigma^2]}{2\sigma(T + \sigma - x)^2} I w^2 v, & \text{если } [T - (\sqrt{2}-1)\sigma] \leq x \leq T. \end{cases} \quad (7)$$

Экспериментальные исследования результатов работы проводились на образцах зубчатых преобразователей с параметрами, мм : $T \leq 6$; $a = 1,5$; $b = 10$ в диапазоне $v = 0,2 - 0,7$ м/сек, причем величины зазоров составляли 0,15 и 0,05 мм. Они подтвердили удовлетворительное совпадение полученных результатов с расчетными данными.

Таким образом, найденные зависимости позволили решить задачу аналитического определения параметров выходных сигналов индукционных зубчатых преобразователей скорости, дать сравнительно простую запись выражений для расчета индуктивности входной обмотки зубчатых преобразователей перемещений.

Л и т е р а т у р а

1. Садовский А.С. Проходной индуктивный датчик. "Автоматика и телемеханика", 1954, № 6.
2. Цикерман Л.Я., Котляр Р.Ю. Индуктивные преобразователи для автоматизации контроля перемещений. М., "Машиностроение", 1966.
3. Электрические измерения неэлектрических величин, под ред. П.В. Новицкого. М.-Л., "Энергия", 1975.
4. Ротерс Г. Электромагнитные механизмы. Госэнергоиздат, 1949.